

DI Dr. techn. Klaus LEEB  
klaus.leeb@schule.at

## "Hydrovar" - Hauswasserversorgung



- **Mathematische / Fachliche Inhalte in Stichworten:**  
Ermitteln einer Kennlinie. Importieren und Auswerten von Messdaten. Erstellen eines 2-D Graphen mit zwei Ordinaten. Arbeiten mit "Indizes" "Alt Gr + 8" oder "["
- **Kurzzusammenfassung**  
Simulation einer Wasserversorgungsanlage für ein mehrstöckiges Haus.  
  
Gemessen wird der Druck vor und nach der drehzahlgeregelten Pumpe (Anzeige des Drucks in bar). Der Volumenstrom wird mit einem "Turbinendurchfluss-Messgerät" bestimmt. (Anzeige des Volumenstroms in l/min) . Die vom Antriebsmotor der Pumpe aufgenommene elektrische Leistung wird mit einem handelsüblichen Leistungsmessgerät bestimmt (Anzeige in Watt).
- **Didaktische Überlegungen / Zeitaufwand:**  
  
1) Pumpenkennlinie bei konstanter Drehzahl  
2) Pumpenkennlinie bei konstantem Druck nach der Pumpe  
3) Wirkungsgrad der Pumpe  
4) Energieersparnis  
  
Kennlinie einer Kreiselpumpe; Elektronischer Druckaufnehmer; elektronischer Volumenstrommesser; Wattmeter  
  
Zeitaufwand: Ein gut vorbereiteter Schüler dürfte für diese Auswertung der Messdaten bis zur Erstellung des Diagramms - ohne Formatierung und Kommentare - in etwa 1 h benötigen.
- **Lehrplanbezug (bzw. Gegenstand / Abteilung / Jahrgang):**  
Laborübung Strömungsmaschinen, Abteilung für Maschineningenieurwesen
- **Mathcad-Version:** Mathcad 14
- **Literaturangaben:**  
Willi Bohl "Strömungsmaschinen 1", Vogel-Buchreihe ISBN: 3 - 8023 - 1527- 8  
Steger "Technische Mechanik 2" Teubner-Verlag, ISBN: 3 - 519 - 16731 - X
- **Anmerkungen bzw. Sonstiges:**  
  
Datum der Messdaten: **27.Sept 2010** Ort: **Labor HTL Wien10**  
Es wird über einen Kugelschieber der gewünschte Volumenstrom eingestellt -->  
**Drosselung**



## Hauswasserversorgung: "Hydrovar" - Regelung

### Problem bei Wasserversorgungsanlagen:

**Im linken Diagramm** ist die Kennlinie einer Kreiselpumpe dargestellt. Die Förderhöhe  $H$  kann auch als Druck nach der Pumpe interpretiert werden (10 Meter Wassersäule entsprechen ca. 1 bar).

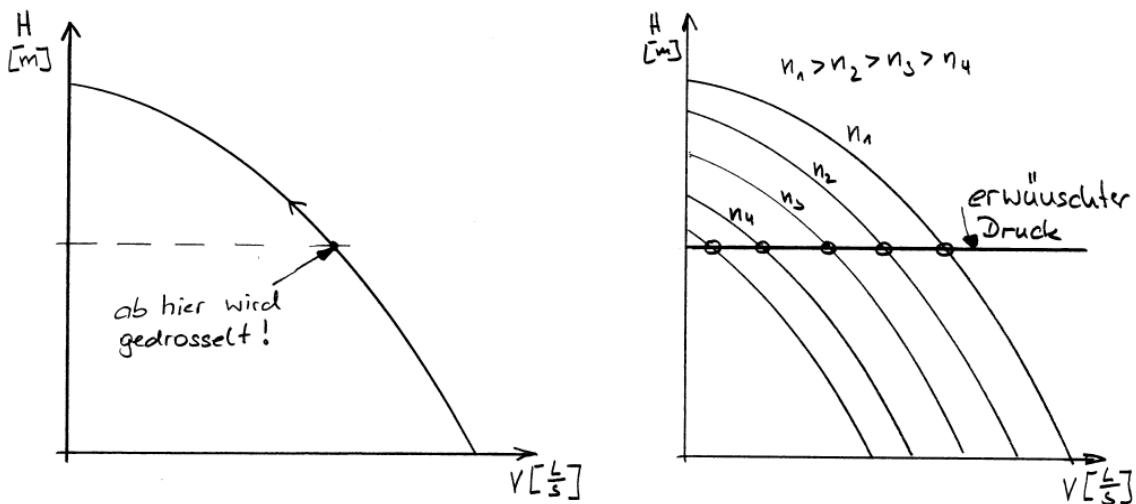
*Kernaussage des Diagramms: mit steigendem Volumenstrom (Wasserverbrauch) sinkt bei konstanter Drehzahl der Druck nach der Pumpe.*

Dieser Sachverhalt ist in mehrstöckigen Wohnhäusern gut zu erkennen. Wenn mehrere Verbraucher z.B. zeitgleich Duschen oder die Wasserhähne aufdrehen, so steigt der Volumenstrom und dementsprechend fällt der Druck ab. So kann es passieren, dass in den oberen Stockwerke Probleme mit der Wasserversorgung entstehen.

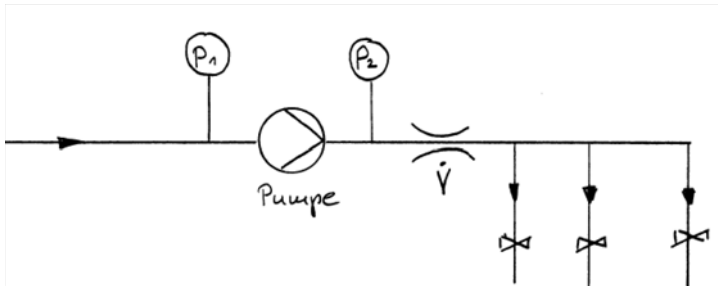
Zum linken Diagramm zurück: oberhalb des gewünschten Druckes muss der Druck nach der Pumpe gedrosselt werden, unterhalb des gewünschten Drucks sinkt dieser leider ab.

**Im rechten Diagramm** ist die *Drehzahlregelung* einer Pumpe dargestellt. Man kann den Druck nach der Pumpe konstant halten, indem die Drehzahl bei steigendem Volumenstrom erhöht wird. --> Die automatische Regelung "Hydrovar" der Fa. ITT Pumpen erfüllt diese Aufgabe mit Hilfe eines Drucksensors (Ist-Wert) und stellt dementsprechend die Drehzahl so nach, dass der eingegebene Druck-Sollwert erreicht wird.

Daraus ergibt sich - wie unten gezeigt wird - eine Antriebsleistungersparnis, die die erhöhten Anschaffungskosten für die Regelung der Pumpe schon nach wenigen Jahren kompensiert.



## Anlagenschema



### Gemessen werden:

- Druck  $p_1$  vor der Pumpe
- Druck  $p_2$  nach der Pumpe
- Volumenstrom
- aufgenommene Leistung

Die Messdaten sind in Excel-Files abgelegt, in der obersten Zeile stehen die Bezeichnungen und Einheiten der Messdaten. Ab der zweiten Zeile beginnen die Messdaten (Zahlen).

--> Einlesen der Messdaten:

- 1) Einfügen - Daten - Dateieingabe - Excel
- 2) RMT Eigenschaften - Datenbereich **A2**- eingeben

**Links:** Messdaten konstante Drehzahl

**Rechts:** Messdaten konstanter Druck

Daten :=  
Messdaten Drehzahl konstant 27Sep10.xls

Daten1 :=  
Messdaten Druck konstant 27Sep10.xls

Die Anzahl der Zeilen ermitteln  $n := \text{zeilen}(\text{Daten})$

**n = 11**

Laufende Variable für die Indizierung definieren  $i := 0..(n - 1)$

Extrahieren der Messdaten aus dem Messdatenfeld ("array")

$$\text{Volum}_i := \text{Daten}_{i,0} \cdot \frac{l}{\text{min}}$$

$$\text{Volum1}_i := \text{Daten1}_{i,0} \cdot \frac{l}{\text{min}}$$

$$p1_i := \text{Daten}_{i,1} \cdot \text{bar}$$

$$p11_i := \text{Daten1}_{i,1} \cdot \text{bar}$$

$$p2_i := \text{Daten}_{i,2} \cdot \text{bar}$$

$$p21_i := \text{Daten1}_{i,2} \cdot \text{bar}$$

$$\text{Leistung}_i := \text{Daten}_{i,3} \cdot \text{W}$$

$$\text{Leistung1}_i := \text{Daten1}_{i,3} \cdot \text{W}$$

## Bestimmung der Förderhöhe:

Allgemeine Energiegleichung ("Bernoulli mit Verlusten")

$E_2 = E_1 + E_{zu} - E_{ab}$  *"Die Energie am Ende eines Vorganges  $E_2$  ist die Energie am Anfang des Vorganges  $E_1$  vermehrt um die zugeführte Energie  $E_{zu}$  und vermindert um die Abgeführte Energie  $E_{ab}$ "*

$$\frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{c_2^2}{2 \cdot g} + z_2 = \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{c_1^2}{2 \cdot g} + z_1 + H_{Pumpe} - \Sigma \Delta h_{Verluste}$$

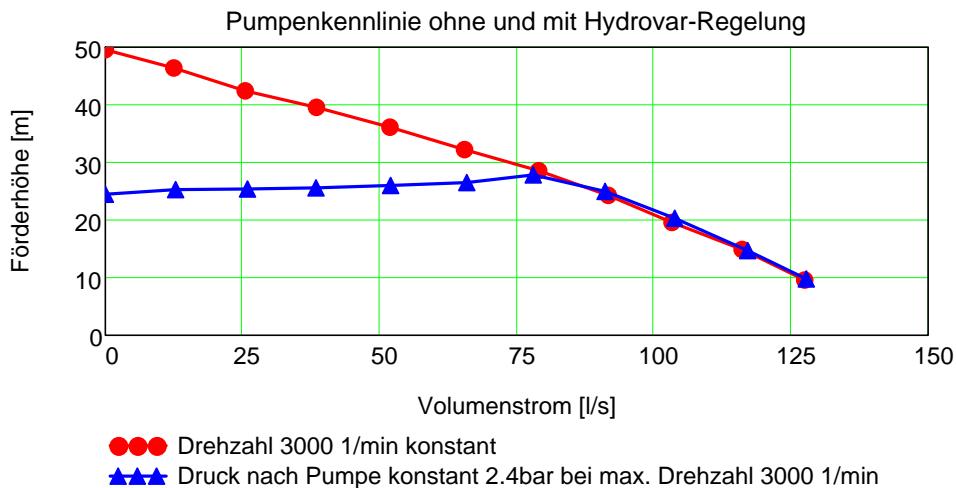
Annahmen:

Der Bernoulli wird kurz vor der Pumpe bis kurz nach der Pumpe angesetzt. Daraus ergeben sich folgende Vereinfachungen.

- die Höhen  $z_1$  und  $z_2$  sind gleich groß
- Die Rohrleitungen vor und nach der Pumpe sind annähernd gleich groß -->  $c_1$  und  $c_2$  sind annähernd gleich groß
- die Verluste in der Rohrleitung können vernachlässigt werden

Förderhöhe der Pumpe:  $H_{Pumpe} = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g}$       Dichte des Wassers:  $\rho_{Wasser} := 1000 \cdot \frac{kg}{m^3}$

$HPumpe_j := \frac{p_{2j} - p_{1j}}{\rho_{Wasser} \cdot g}$        $HPumpe_{1j} := \frac{p_{21j} - p_{11j}}{\rho_{Wasser} \cdot g}$



Es ist bei der blauen Linie sehr gut zu erkennen, dass der Druck nach der Pumpe bis ca. 75 l/min annähernd konstant gehalten werden kann. Danach fallen beide Kennlinien zusammen, da die Drehzahl nicht mehr erhöht werden kann. Der Druck sinkt ab. D.h. die Regelung funktioniert nur bis ca. 75 l/min.

## Leistung und Wirkungsgrad

Hydraulische Leistungen

$$P = \rho \cdot G \cdot H \cdot V$$

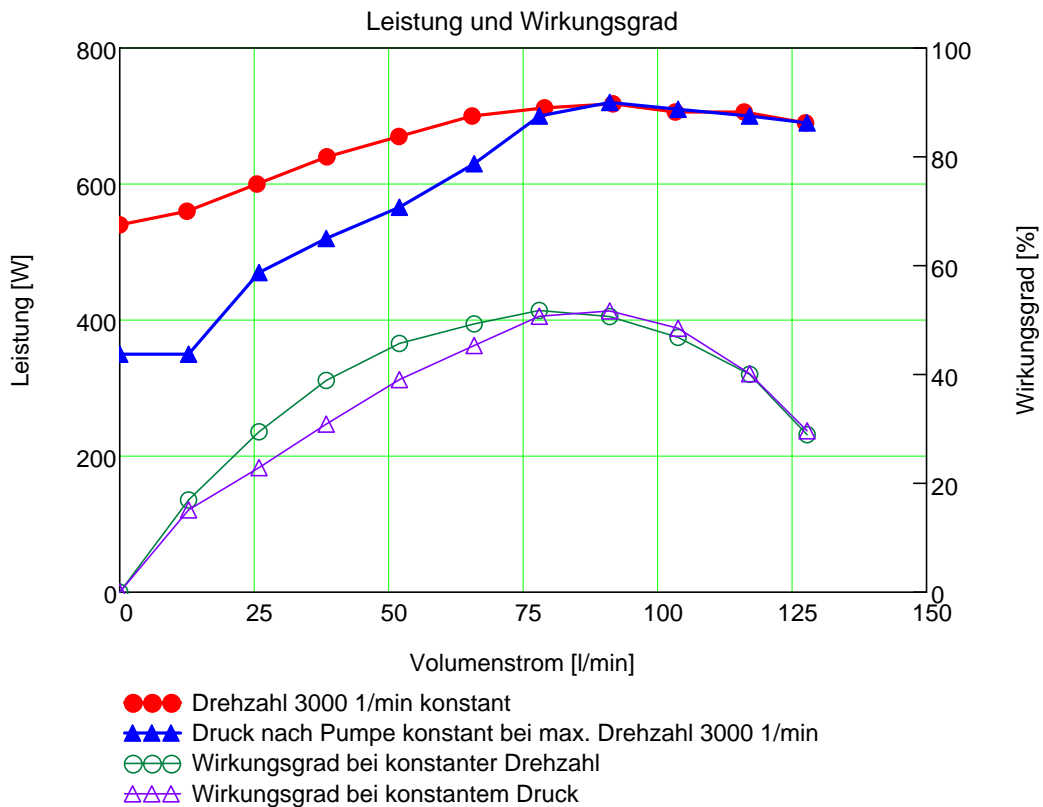
$$PHyd_i := \rho_{Wasser} \cdot g \cdot HPumpe_j \cdot Volum_j$$

$$PHyd1_i := \rho_{Wasser} \cdot g \cdot HPumpe1_j \cdot Volum1_j$$

Wirkungsgrade

$$\eta_i := \frac{PHyd_i}{Leistung_i}$$

$$\eta1_i := \frac{PHyd1_i}{Leistung1_i}$$



### Interpretation:

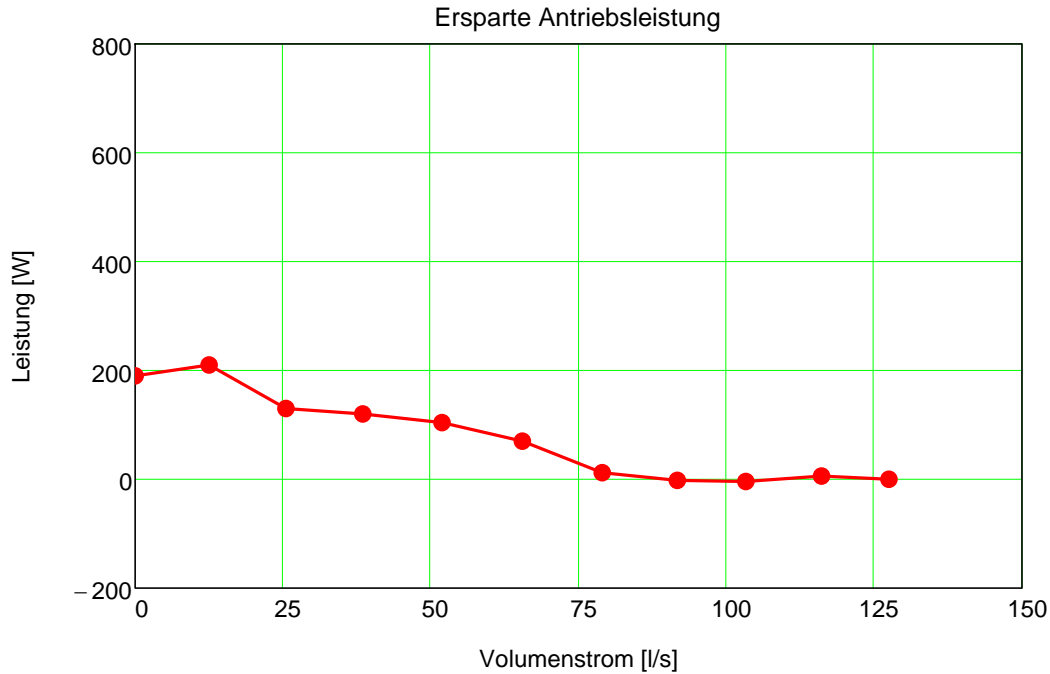
Der maximale Wirkungsgrad von 50% der *Pumpe bei konstanter Drehzahl* liegt bei ca. 75 bis 90 l/min (in diesem Bereich dürfte der Auslegungspunkt sein).

Der Wirkungsgrad der *Pumpe mit Drehzahlregelung* fällt unterhalb von 75 l/min ab, da ja die Drehzahlen weit unter der Auslegungsdrehzahl von 3000 1/min liegen.

(Dies entspricht auch den sogenannten "Muscheldiagrammen" für die Wirkungsgrade -- je weiter der Betriebspunkt vom Auslegungspunkt weg liegt, desto schlechter wird der Wirkungsgrad)

## Was erspart man sich durch diese Regelung?

Ersparte Antriebsleistung:  $P_{diffj} := \text{Leistung}_j - \text{Leistung}_{1j}$



Bei ca 40 l/min erpart man sich 120W. Wenn die Pumpe im Jahr (7860h) dauernd in Betrieb wäre, so ergäbe sich mit dem Strompreis von ca 0.22Euro/kWh die maximal mögliche Kostenersparnis.

$\text{EUR} := 1$      
  $\text{kWh} := \text{W} \cdot \text{h} \cdot 1000$      
  $\text{Preis} := 0.22 \cdot \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}}$

**Ersparter Energieaufwand**     
  $E_{\text{Antrieb}} := 120 \cdot \text{W} \cdot 7860 \cdot \text{h}$      
  $E_{\text{Antrieb}} = 943.2 \text{ kWh}$

**Kostenersparnis**     
  $\text{Kostenersparnis} := E_{\text{Antrieb}} \cdot \text{Preis}$      
  $\text{Kostenersparnis} = 207.504 \text{ EUR}$

Dieser Betrag vermindert sich natürlich sehr stark, wenn man die wirkliche Betriebsdauer und die mittlere Leistungsdifferenz der Pumpe (müsste gemessen werden) einsetzt. Übrig bleibt dennoch eine Ersparnis, die bei sehr starken Pumpen doch beträchtlich sein kann.

### Messdaten konstante Drehzahl

Daten =

	0	1	2	3
0	0	-0.04	4.82	540
1	12.5	-0.05	4.5	560
2	25.5	-0.06	4.1	600
3	38.5	-0.07	3.81	640
4	51.9	-0.1	3.44	670
5	65.5	-0.1	3.06	700
6	79	-0.18	2.62	712
7	91.7	-0.23	2.15	718
8	103.3	-0.28	1.64	706
9	116.1	-0.35	1.11	706
10	127.5	-0.4	0.54	690

Spalte 0: Volumenstrom [l/min]  
 Spalte 1: Druck vor der Pumpe [bar]  
 Spalte 2: Druck nach der Pumpe [bar]  
 Spalte 3: Leistungsaufnahme [W]

### Messdaten konstanter Druck

Daten1 =

	0	1	2	3
0	0	0	2.4	350
1	12.8	-0.08	2.4	350
2	25.9	-0.08	2.41	470
3	38.4	-0.08	2.43	520
4	52	-0.08	2.47	566
5	65.9	-0.1	2.5	630
6	78	-0.18	2.55	700
7	91.1	-0.23	2.22	720
8	103.8	-0.29	1.7	710
9	117.1	-0.35	1.09	700
10	127.8	-0.41	0.55	690

Spalte 0: Volumenstrom [l/min]  
 Spalte 1: Druck vor der Pumpe [bar]  
 Spalte 2: Druck nach der Pumpe [bar]  
 Spalte 3: Leistungsaufnahme [W]